ジルカロイの応力腐食割れによる破断寿命の分布[†]

島 田 祥 雄* 永 井 将 之**

Distribution of Time to Failure of Zircaloy by Stress Corrosion Cracking

by

Sachio SHIMADA and Masayuki NAGAI

(Nippon Nuclear Fuel Development Co. Ltd., Ibaraki)

It is often observed that the data of the time to failure of Zircaloy tubes obtained in the internal pressurization SCC tests vary widely even though the same testing condition, such as the applied hoop stress, iodine concentration, test temperature and texture, is used. In order to keep the failure probability of Zircaloy tubes very small, it seems important to determine the distribution of the time to failure, or the failure probability, of Zircaloy tubes for the SCC test results.

A study has been performed to establish the functional form of the distribution of the time to failure by using the statistical approach adopted in the study of strength and fracture of solids. The results revealed that the distribution of the failure probability could be described by the Weibull distribution. An attempt was also made to apply the present method to evaluate the failure probability of the Zircaloy cladding tubes with stress distribution by combining the data of SCC tests with the behavior of fuel rods analyzed by FEM code.

(Received Oct. 17, 1981)

キー・ワード：ジルカロイ，応力腐食割れ，破断寿命，ワイブル分布

1 緒 言

ジルカロイのヨウ素による応力腐食割れが Rosenbaum¹⁾によって指摘されて以来，多くの研究結果が報告されている。それらの結果をみると，ヨウ素雰囲気^{2)~5)}中でジルカロイに一定応力を加えて応力腐食割れ実験を行った場合，ヨウ素濃度，試験片温度等の実験条件が同じであっても，試験片が破断するまでの時間はばらつくことが示されている。破断時間のばらつきは，ジルカロイの他にステンレス鋼等の応力腐食割れ実験においても観察されている。このような現象は，応力腐食割れによる破断寿命を評価する場合に，確率・統計的な考察が必要であることを示唆するものであり，アルミニウム合金やステンレス鋼の破断寿命分布に対してはすでに，Locks⁶⁾，浅輪⁷⁾，柴田ら⁸⁾⁹⁾により統計的解析が報告されている。

実際に使用されている材料の強度を統計的に評価するときには，破断確率が小さい領域（破断確率分布のすそ野領域）を対象とする場合が多い。破断の確率分

布は，ピーク値をもつ中央部の分布の形が似ていても，すそ野領域では分布の種類により，値が必ずしも似た傾向を示すとは限らない。そのため，破断確率の小さい領域を扱う場合には，実際のデータの分布にどのような分布関数をあてはめるかが重要な問題になる。しかし，破断確率の小さい領域での分布の形，たとえば破断確率が1%以下であるような領域での分布の形を実験的に求めようとするならば，必要なデータ数は数百以上にもなるであろう。したがってこのような場合には，対象とする材料の破断機構の考察から破断の確率分布がどのような形になるかを求め，その上で実験データを利用して理論的に求めた分布関数のパラメータを決定することが必要になる。

上述した観点に基づき，本研究は材料強度学で用いられている破断現象の確率的手法をジルカロイの応力腐食割れに適用し，その破断寿命分布について検討を行ったものである。

2 破断寿命分布関数の導出

2・1 単位内表面積をもつ被覆管の破断寿命分布

単位内表面積をもつジルカロイ被覆管の内側に一定量のヨウ素を封入し，内圧を負荷することにより一定

[†] 原稿受理 昭和56年10月17日

* 正 会 員 日本核燃料開発(株) 茨城県東茨城郡大洗町成田町

** 日本核燃料開発(株) 茨城県東茨城郡大洗町成田町

Fig. 1. Schematic of the cross section of Zircaloy tube in SCC test.

応力を加えて応力腐食割れ実験を行ったとする。応力腐食割れによるき裂は、Fig. 1 に模式的に示すように被覆管内表面に多数発生し、それぞれが外表面に向かって進展を開始する。単位内表面積に発生するき裂の数を n とし、各き裂を、1, 2, ..., n と番号付けする。 i 番目のき裂が単位時間当りに貫通する確率（遷移確率）を $\mu_i(t)$ とおくと、 t 時間後までに被覆管が破断しない確率 $R_u(t)$ ($R_u(t)$ は単位内表面積をもつ被覆管が破断しない確率であるから、 $\log R_u(t)$ は $[L^{-2}]$ の次元をもつ。) は、 n 個のき裂のいずれから破断がおこらない確率に等しいから、

$$R_u(t) = \exp\left\{-\int_0^t \mu_1(t) dt\right\} \cdots \exp\left\{-\int_0^t \mu_n(t) dt\right\} \\ = \exp\left\{-\int_0^t \sum_{i=1}^n \mu_i(t) dt\right\} \quad (1)$$

一方、単位内表面積をもつジルカロイ被覆管の破断を2状態1段階過程と考え、単位時間当りの遷移確率を $U(t)$ とおくと、

$$R_u(t) = \exp\left\{-\int_0^t U(t) dt\right\} \quad (2)$$

したがって、式(1)および(2)より、

$$U(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i(t) \quad (3)$$

が成り立つ。

各き裂の単位時間当りの遷移確率 $\mu_i(t)$ はそれぞれ異った値をもつが、内表面に発生するき裂の数が多いときは、 $\mu_i(t)$ の値として次式で定義される $\bar{\mu}(t)$ 、

$$\bar{\mu}(t) = \int_0^\infty \mu_i(t) g(\mu_i) d\mu_i \quad (4)$$

($g(\mu_i)$: μ_i の確率密度関数)

を近似値として用いることができる。このとき、 $\mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_n = \bar{\mu}$ であるから、式(3)より

$$U(t) = n\bar{\mu}(t) \quad (5)$$

となる。一般に $\mu(t)$ は時間とともに増加する場合、減少する場合、および一定値をとる場合が考えられる。そこで、 $\bar{\mu}(t)$ は

$$\bar{\mu}(t) \doteq At^{m-1} (A, m: \text{定数}) \quad (6)$$

で近似できるものとする。上式を式(5)および(2)に代入して、

$$R_u(t) = \exp\left(-\int_0^t An t^{m-1} dt\right) \\ = \exp\left(-\frac{An}{m} t^m\right) \quad (7)$$

ここで、

$$t_0^m = \frac{m}{An} \quad (8)$$

とおくと、

$$R_u(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right\} \quad (9)$$

したがって、 t 時間後に単位内表面積をもつ被覆管が破断している確率、すなわち累積破断分布関数 $F_u(t) \equiv 1 - R_u(t)$ (あるいは、破断寿命分布関数) は、

$$F_u(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right\} \quad (10)$$

となり、ワイブル分布で表される。

管内表面にき裂が発生するまでに一定の潜伏期間 τ (すべてのき裂がほぼ同じ潜伏期間 τ をもつものとする。) が存在するときは、(10)式の t を $(t - \tau)$ で置きかえて、

$$F_u(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t - \tau}{t_0}\right)^m\right\} \quad (11)$$

また、確率密度関数 $f_u(t)$ は上式を t で微分して、

$$f_u(t) = \frac{m}{t_0^m} (t - \tau)^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{t - \tau}{t_0}\right)^m\right\} \quad (12)$$

で与えられる。

2・2 被覆管の内表面積の効果

前節で求めた単位内表面積当りの累積破断分布関数(破断寿命分布関数) $F_u(t)$ を用いて、任意の内表面積 S をもつジルカロイ被覆管の累積破断分布関数(破断寿命分布関数) $F_s(t)$ を導出する。内表面積 S は、単位内表面積が S 個集ったものと考えることができる。したがって被覆管が t 時間後までに破断しない確率、 $R_s(t) \equiv 1 - F_s(t)$ は、すべての単位内表面積で破断がおこらない確率の積で表される。すなわち、

$$R_s(t) = \{R_u(t)\}^S \\ = \left[\exp\left\{-\left(\frac{t - \tau}{t_0}\right)^m\right\}\right]^S \\ = \exp\left\{-S\left(\frac{t - \tau}{t_0}\right)^m\right\} \quad (13)$$

したがって、

$$F_s(t) = 1 - \exp\left\{-S\left(\frac{t - \tau}{t_0}\right)^m\right\} \\ = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t - \tau}{t_0'}\right)^m\right\} \quad (14)$$

上式を式(11)と比較すると、

$$t_0'^m = \frac{t_0^m}{S} \quad (15)$$

となるだけであって、 $F_S(t)$ はやはりワイブル分布に従うことがわかる。確率密度関数 $f_S(t)$ は式(14)を t で微分して、

$$f_S(t) = \frac{m}{t_0'^m} (t - \tau)^{m-1} \exp \left\{ - \left(\frac{t - \tau}{t_0'} \right)^m \right\} \quad (16)$$

実際には、任意の内表面積 S をもつ被覆管の応力腐食割れ実験により $F_S(t)$ を求め、式(15)の係数を用いて単位内表面積当りの累積破断確率 $F_u(t)$ を導出することになる。

今までの解析では、負荷応力 σ 、ヨウ素濃度 I 、および実験温度 T などの実験条件がすべて同じである場合の累積破断確率分布を論じてきた。これらの実験条件の変化は、式(11)あるいは式(14)の分布関数のパラメータ、 m 、 t_0 あるいは t_0' 、および τ を通して破断確率に影響を及ぼす。したがって、 σ 、 I 、 T の条件をかえて実験を行い、

$$\left. \begin{aligned} m &= m(\sigma, I, T) \\ t_0 &= t_0(\sigma, I, T) \\ \tau &= \tau(\sigma, I, T) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

を求めれば、破断確率分布の σ 、 I 、 T への依存性を調べることができる。

2・3 被覆管に応力分布がある場合の累積破断確率分布の評価方法

ジルカロイ管を原子炉の燃料棒被覆管として使用する場合、1本の被覆管においても応力分布が生じることが知られている¹³⁾。そこで、短尺管に一定応力を加えて行う応力腐食割れ実験の結果を、被覆管に応力分布がある場合の破断確率の評価に適用する方法について考察を行った。ただし、応力 σ のみが分布して、ヨウ素濃度 I 、実験温度 T は一定であるとする。

ジルカロイ被覆管に応力 σ の分布があるとき、第一段階として、その中では応力分布が一様であると考えてよい k 個の微小部分に試験片を分割する。分割した微小部分に、1, 2, ..., k の番号付けをし、 i 番目 ($i=1, 2, \dots, k$) の部分の応力を σ_i 、内表面積を S_i 、とおき、 t 時間後までに i 番目の部分で破断が起らない確率を $R_i(t)$ とする。ある応力 σ_i に対してある内表面積 S_i が対応するため、 S_i を σ_i の関数として表すことができる。そこでその関数を

$$S_i = H(\sigma_i) \quad (18)$$

とおくことにする。 t 時間後までに i 番目の部分が破断しない確率が $R_i = R_i(t, \sigma_i)$ であるから、 t 時間後までに被覆管が破断しない確率 R は、

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdots R_k \quad (19)$$

両辺の対数をとる、

$$\begin{aligned} \ln R &= \sum_{i=1}^k \ln R_i(t, \sigma_i) \\ &= \sum_{i=1}^k \ln \{ R_u(t, \sigma_i) \} S_i \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=1}^k S_i \ln \{ R_u(t, \sigma_i) \} \quad (20)$$

ただし、式(15) $R_S(t) = \{ R_u(t) \}^S$ の係数を用いた。

式(20)において、 S_i を無限に細かくとると、

$$\ln R = \int_S \ln R_u(t, \sigma) dS \quad (21)$$

また式(18)より、 $S = H(\sigma)$ であるから、

$$\frac{dS}{d\sigma} = \frac{dH(\sigma)}{d\sigma} = h(\sigma) \quad (22)$$

とおくと、式(21)は、

$$\ln R = \int_{-\infty}^{+\infty} \ln R_u(t, \sigma) h(\sigma) d\sigma \quad (23)$$

上式では応力の積分範囲を $(-\infty, +\infty)$ としたが、ジルカロイ被覆管の応力腐食割れで実際に問題となるのは引張応力のみであり、引張応力を正の向きにとれば、一般に $\sigma < 0$ の領域では $S=0$ が成り立つ。したがって、

$$h(\sigma) = 0 \quad (\sigma < 0) \quad (24)$$

であるため、

$$\ln R = \int_0^{\infty} \ln R_u(t, \sigma) h(\sigma) d\sigma \quad (25)$$

すなわち、

$$R(t) = \exp \left\{ \int_0^{\infty} \ln R_u(t, \sigma) h(\sigma) d\sigma \right\} \quad (26)$$

で表される。したがって解析の対象としている被覆管の累積破断確率 $F(t)$ は、

$$\begin{aligned} F(t) &\equiv 1 - R(t) \\ &= 1 - \exp \left\{ \int_0^{\infty} \ln R_u(t, \sigma) h(\sigma) d\sigma \right\} \quad (27) \end{aligned}$$

となる。

式(27)の $R_u(t, \sigma)$ は前述したように短尺被覆管を用いた応力腐食割れ実験から得られ、 $h(\sigma)$ はたとえば計算機による燃料棒被覆管の挙動解析から応力分布を求めて $S=H(\sigma)$ の係数を出し、 σ で微分することにより得ることができる。このように、応力腐食割れ実験結果と計算機による挙動解析結果を組合せれば、式(27)から実際の燃料棒被覆管の応力腐食割れによる累積破断確率(破断寿命分布)を計算することが可能である。

3 実 験

3・1 実験方法

長さ 4m のジルカロイ-2 被覆管 (内径: 10.8 mm, 肉厚: 0.86 mm) から 115 mm の試験片を切り出し、400℃で4時間の真空熱処理をした後実験に供した。被覆管の組成を Table I に示す。試験片の内側にヨウ素を封入し、スウェーデンロックにより管を実験装置に装着した。実験に先立ってアルゴンガスで被覆管の内側の空気を追い出した後、試験片を所定の温度まで上げ、アルゴンガスにより内圧を負荷した。被覆管の

Table I. Composition of Zircaloy-2 used in this work.

Alloying elements (%)	Principal impurities (ppm)
Sn -1.51	C -120
Fe -0.15	Si - 71
Cr -0.10	Hf - 50
Ni -0.05	N - 39
O -0.12	H - 13

円周方向応力 σ_H としてはき裂が内表面から発生することを考慮して、厚肉管の式

$$\sigma_H = P \frac{D_0^2 + D_i^2}{D_0^2 - D_i^2} \quad (28)$$

P : 圧力

D_0 : 被覆管外径

D_i : 被覆管内径

を用いて計算した。今回の実験では、ヨウ素濃度および実験温度をそれぞれ、 0.55 mg/cm^2 , 350°C に設定した。

3・2 実験結果

被覆管に一定の内圧を加えて試験片が破断するまで保持し、負荷応力 σ_H と破断時間 t_f との関係を求めた。結果を Fig. 2 に示す。円周方向応力が 306 MPa

Fig. 2. Results of tube pressurization SCC tests on Zircaloy-2 specimens.

で合計 8 点のデータを採取し、破断時間の短い順に並べて、メディアン・ランク法¹⁴⁾により、累積破断確率を計算した。メディアン・ランク法では、 j 番目の値の累積破断確率 F_j は、データ数を M として、

$$F_j = \frac{j - 0.3}{M + 0.4} \quad (29)$$

で近似できる。 F_j をワイブル確率紙にプロットすると、Fig. 3 に示すようにほぼ直線になり、破断寿命分布がワイブル分布で近似できることが示されたため、式(4)を用いてデータのフィッティングを行った。潜伏期間 τ の値は、同じ実験条件でそれぞれ10分間および30分間保持した後、被覆管内表面を SEM 観察して、

昭和58年1月

Fig. 3. Plots of the cumulative probability of time to failure in Weibull paper. $F_u(t)$ is calculated by using the equation (15).

Fig. 4. Inner surface of the specimens held at constant pressure for (a) 10 minutes, and (b) 30 minutes.

応力腐食割れによるき裂がいつ頃から始まっているかを調べることで推定した。その結果 Fig. 4 に示すようにき裂は応力を加えてから10分後には既に発生しており、 τ は比較的短いことがわかった。そこで今回の実験条件では、 $\tau \approx 0$ が成り立つものとみなし、最小自乗法により式(14)の m および t_0' を計算し、

$$\left. \begin{aligned} m &= 7.51 \\ t_0' &= 2.10 \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

を得た。上記の値を式(14)および(16)に代入して計算した破断寿命の分布式 $F_s(t)$ および 確率密度関数 $f_s(t)$

Fig. 5. Comparison between the probability density function $f_s(t)$ and $f_u(t)$.

を, それぞれ Fig. 3 および Fig. 5 に示した.

また我々が行った実験では, 試験片の有効内表面積 $S=12\text{cm}^2$ であるため, 式(15)より t_0 を求めて式(11)に代入し $F_u(t)$ を計算した. $F_u(t)$ を $F_s(t)$ と比較できるように Fig. 3 に示した.

4 考 察

応力腐食割れによって生じたき裂が単位時間当りに貫通する確率 $\bar{\mu}(t)$ が, 時間 t の関数として式(6)で近似できるときには, 時間 t に対する累積破断確率 (破断寿命の分布) がワイブル分布になることを利用して, 被覆管の内表面積の効果, あるいは応力分布がある場合の被覆管の破断寿命分布を定式化することができた. 破断寿命の分布を表す式(10)を, 式(6)および(8)と比較することにより, ワイブル分布の形状のパラメータ m および尺度のパラメータ t_0 が, き裂が単位時間当りに貫通する確率 $\bar{\mu}(t)$ やき裂の発生数 n とどのような関係があるかを論じることができる.

き裂が貫通する確率の時間依存性を示す $m-1$ の m が, ワイブル分布の形状のパラメータとして, 式(10)に入っている. したがってき裂が単位時間当りに貫通する時間依存性が大きいほど, m の値も大きくなり, したがって, ワイブル確率紙にプロットした累積破断確率のデータ点のこう配が急になり, 時間とともに累積破断確率は急激に増加する.

一方, 尺度のパラメータ t_0 は式(8)からわかるように, t_0^m がき裂が単位時間に貫通する確率の大きさを表す定数 A と, 単位内表面積当りに発生するき裂の数 n との積に反比例している. このため, A が大きい場合, あるいは n が多い場合には, t_0 の値は小さくなり, ワイブル確率紙の上ではデータ点は左側に移動する. またそれに伴い, Fig. 5 に示すように確率密度関数は, より鋭いピークをもつ分布になる.

単位内表面積当りに発生するき裂の数 n が尺度のパラメータ t_0 を介して式(10)に入っていることから推測できるように, 試料の寸法効果, すなわち被覆管の内表面積の効果も, 尺度のパラメータを介して破断寿命分布に影響を及ぼす. 内表面積 S を有する試料のワイブル分布に現れる尺度のパラメータは式(15), $t_0'^m = t_0^m / S$ で表されるが, この試料に発生するき裂の数を N とおけば, $N = nS$ であるから, 式(8)および(15)より,

$$t_0'^m = \frac{m}{AN} \quad (31)$$

と書くことができる. したがって, データを整理する場合には, N あるいは S の都合のよい方を選ぶことができる. また式(15)を使えば, 実験室規模で小試験片を用いて得られた結果から, 工業的に用いられる大規模な材料の破断寿命分布を推定することが可能である.

位置のパラメータ τ は形状のパラメータ m や尺度の

パラメータ t_0 と異り, 直観的にき裂が発生するまでの潜伏期間として式(11)に導入されている. したがって, 本報告の実験のように $\tau \approx 0$ か, あるいは $\tau \approx 0$ であってもほとんどすべてのき裂がほぼ同じ潜伏期間をもつならば, 破断寿命の分布式は式(11)で表すことができる.

しかし, き裂が発生するまでの潜伏期間のばらつきが大きい場合 (応力が低かったり腐食条件が弱いときには, このような現象がおこるであろう) には, き裂が発生するまでの時間も確率現象としてとらえることが必要である. したがって, 応力腐食割れの破断寿命分布も単一ワイブル分布ではなく, もっと複雑な分布になるものと予想される. 柴田らがステンレス鋼を用いて行った応力腐食割れ実験の結果においても, 高応力では単一ワイブル分布で表される破断寿命分布が, 低応力では複合型のワイブル分布になるという結果が得られている. き裂の発生までの時間を確率過程としてとらえた場合に, 破断寿命分布がどのような形になるかについては, 今後の検討が必要である.

5 結 言

(1) ジルカロイ被覆管の内表面に発生した応力腐食割れによるき裂が単位時間当りに被覆管を貫通する確率 $\bar{\mu}(t)$ を

$$\bar{\mu}(t) \approx At^{m-1} \quad (32)$$

で近似したとき, 被覆管の破断寿命分布 $F_s(t)$ は,

$$F_s(t) = 1 - \exp \left\{ -S \left(\frac{t - \tau}{t_0} \right)^m \right\} \quad (33)$$

なるワイブル分布で表される. ここで, S は被覆管の有効内表面積, t_0 は被覆管の単位内表面積当りに発生するき裂の数を n として, $t_0 = \{m/(An)\}^{1/m}$ で表される定数である.

(2) 被覆管に応力分布がある場合の破断寿命分布 $F(t)$ は,

$$F(t) = 1 - \exp \left\{ \int_0^\infty \ln R_u(t, \sigma) h(\sigma) d\sigma \right\} \quad (34)$$

で表される. $h(\sigma)$ は応力 σ と内表面積 S との関係を $S = H(\sigma)$ で表したとき, $h(\sigma) \equiv dH(\sigma)/d\sigma$ で定義される関数である.

(3) ジルカロイ-2 被覆管を用いてヨウ素による応力腐食割れ実験を行い, 破断寿命の分布が式(33)で整理できることが示された.

(昭和56年10月19日 日本原子力学会秋の分科会にて講演)

参 考 文 献

- 1) H. S. Rosenbaum, Electrochem. Technol., **4**, 153 (1966).
- 2) A. Garlick, J. Nucl. Mater., **49**, 209 (1973).
- 3) J. C. Wood, Nucl. Technol., **23**, 63 (1974).
- 4) C. C. Busby, R. P. Tucker and J. E. McCauley, J.

- Nucl. Mater., **55**, 64 (1975).
- 5) D. Cubicciotti and R. L. Jones, EPRI NP-717 (1978).
- 6) M. O. Locks, Corrosion, **27**, 386 (1971).
- 7) 浅輪光男, 日本金属学会誌, **40**, 433 (1976).
- 8) 柴田俊夫, 竹山太郎, 鉄と鋼, **66**, 693 (1980).
- 9) 柴田俊夫, 竹山太郎, 防食技術, **30**, 47 (1981).
- 10) 岡村弘之, 坂垣 浩, “強度の統計的取扱い”, 1章 (1979) 培風館
- 11) 横堀武夫, 沢木洋三, 日本材料強度学会誌, **6**, 109 (1972).
- 12) 横堀武夫, “材料強度学, 第2版”, 8章 (1974) 岩波書店
- 13) J. H. Gittus, Nucl. Eng. Des., **18**, 69 (1972).
- 14) K. C. Kapur and L. R. Lamberson, “Reliability in Engineering Design”, Chap. 11 (1977) John Wiley & Sons, New York

書 評

“Textile Reinforcement of Elastomers”

W. C. Wake and D. B. Wootton (編)

(1982年, Applied Science Publishers Ltd. 発刊, 155×23mm, xiii+265ページ, £24.00)

自動車の空気入りタイヤで見慣れているように, ゴムはふつう繊維で補強されて実用に供されている場合がほとんどである。一時期, 強力なウレタンゴムの出現で繊維補強なしの夢ももたれたが, 十数年たつ現在, 結局は一般のタイヤとして受け入れられずに終わった。ゴムと繊維は重要な組合せであり, フレキシブルで強力な複合材として独占的地位を今後も保つものと思われる。こうしたゴム複合系の強度を支えているのは繊維材料, 糸や布の形態をとる繊維集合体であるが, そうした繊維材料については, 専門分野の人を除くと一般に広く知られていない面がある。

本書は, まずゴムの補強に使われる繊維材料の糸と布について製造法も含め, 基本的な構造, 性質を説明している。専門外の人が乱用している用語や定義が明りょうに解説されていることも貴重であろう。ついで繊維とゴムとの接着の問題を論じた後, 具体的な製品として, ホース, ホーバクラフトなどのボートを含む海洋関係製品, それに動力伝達用ベルトらについてそれぞれ章を分けて詳細な説明がなされている。ただし, 説明は図や表を用いてそれら製品の性能や性質から製造法, 試験法, 使用法にわたってなされているが, 数式はほとんど使われていないのも特徴的である。平易な言葉で要点をうまく説明しているのも, 流し読みもできるという, 専門書としてはちょっと風変りな本であり, 関係の専門分野の方にはもちろん, 専門外の方々にも面白い本のように思われる。もちろん専門書としてかなりの深さをもつ本である。自動車タイヤをこの紹介文の始めに例として挙げたが, 面白いことにこの本にはこの巨大かつ重要な用途をもつ製品には触れていない。多少いぶかったが, 前書きにこのことが説明されていた。すなわち, このタイヤに関する記述を本書に記載されている他の用途製品すなわちホースやベルトなどと同じような深さで書くと, この本の一冊分を占めるであろうと思われたからで, これについてはあらためて続編を出版したいとのことである。

(京都大学工学部 川端季雄)